

第十九屆旺宏科學獎

作品說明書

參賽編號：SA19-398

姓名：吳柏慶

作品名稱：隨波阻浪-仿生堤消浪及環境友善之探討

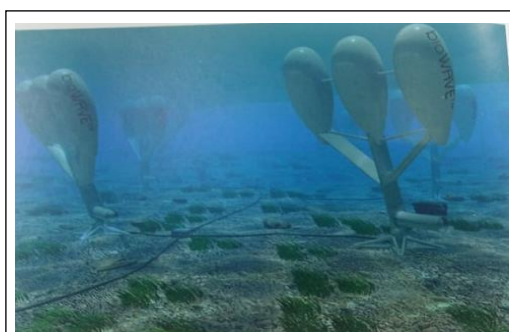
關鍵詞：仿生、消浪、巨藻

摘要

海岸防護與消浪工程是河海工程重要的一環，也為地球科學研究領域的應用。近年來環保意識抬頭，消波塊及其他消浪方式對環境造成的改變以及對海岸美觀性的破壞，已讓許多人思考是否有對環境更友善的消浪方式。兼具自然維護且有效消浪能力為此類工程注重的兩大方向，師法自然的仿生方法或許是一種解決方式。本研究期望以巨藻為仿生對象，設計出仿生堤，並製作出不同型態的造浪器模擬岸邊海浪拍打情形，且分別對不同排數、長度及排列方式的仿生堤進行模擬消浪實驗，利用雷射測距儀及自製滑軌分析受侵蝕後的沙灘地形並錄影分析海浪經過仿生堤後的消浪程度。實驗後發現仿生堤若排數越多消浪高及消浪能效果越好，在不同排列中 V 型排列的消浪高最好，但是其消浪能比卻較標準型差。比較消波塊與仿生堤後，發現仿生堤的對地施壓約為消波塊的 0.29 倍，且消波塊的受力較仿生堤大使材料耗損率高，加上單位體積消浪比在四排實驗中只有 1.53×10^{-4} ，在水中所佔體積較小，因此仿生堤對環境更友善。

壹、研究動機

我們在一本名為仿生高科技的書中，看到有人利用巨藻在水中擺動之樣態，仿生製出巨型海底機具發電(如圖一)所示。之後看到有關於巨藻在水中擺動的影片後，讓我們想到巨藻林，是否可以成為一種離岸堤，於是我們先在超市購買海帶進行模擬消浪實驗，將海帶沒水中，並固定一端於容器底部，另一端浮起至水面，當容器內水波經過海帶上方後，發現波高確實有下降，這使我們更想探討是否能模擬巨藻做出對環境較友善的消浪工程，使海岸線的侵蝕變弱，進而減少消波塊、防波堤等對環境有害的消浪設施興建。



圖(一)：bioWAVE 發電機

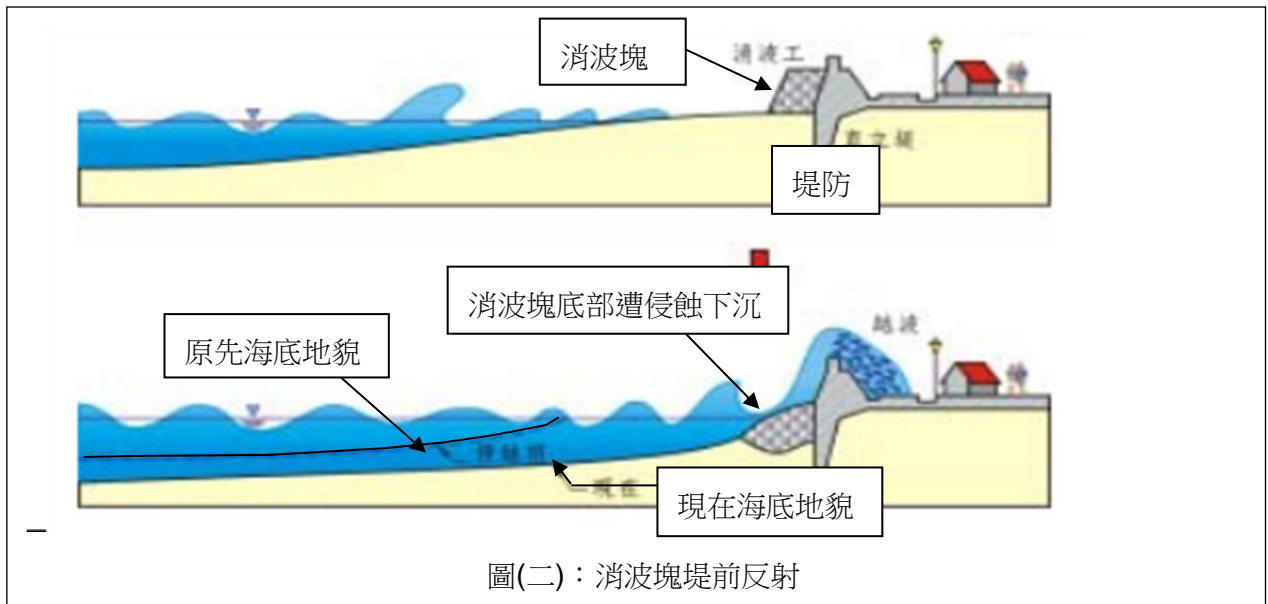
貳、文獻探討

一、文獻整理各種不同消浪方式對於生態影響以及消浪能力

(一)防波堤（通常搭配消波塊）

優點：施工方便、費用較低廉。

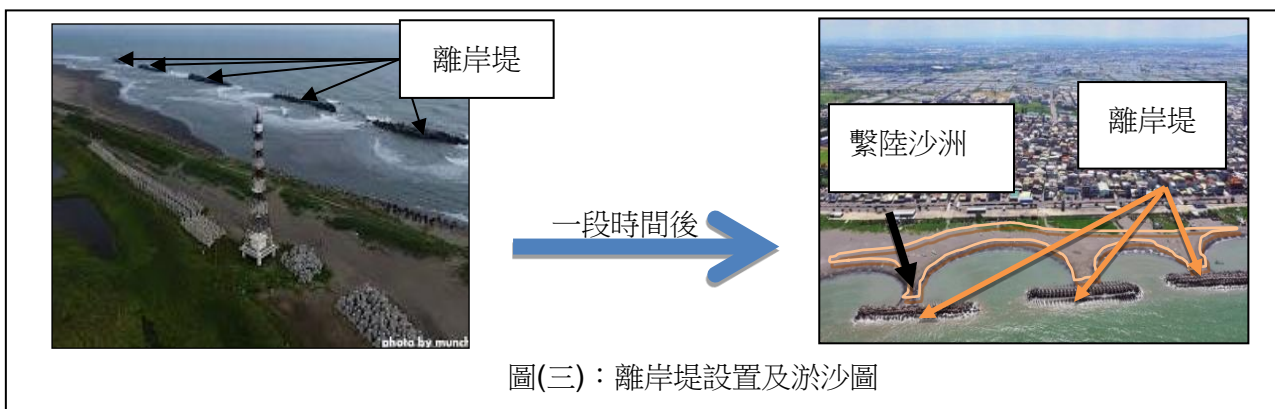
缺點：堤底容易受到侵蝕導致堤體潰決、使反射波加速並增強侵蝕。



(二)離岸堤

優點：抑制堤後海浪之能量、降低流速使漂砂沉積於堤。

缺點：繫陸沙洲形成沿岸輸砂被阻斷造成突堤效應、費用不匪。



(三)天然養灘

優點：沙灘為天然消波體能保持沙灘原貌。

缺點：需不斷繼續補充土砂養灘、價格不斐。

二、文獻整理海浪波模式

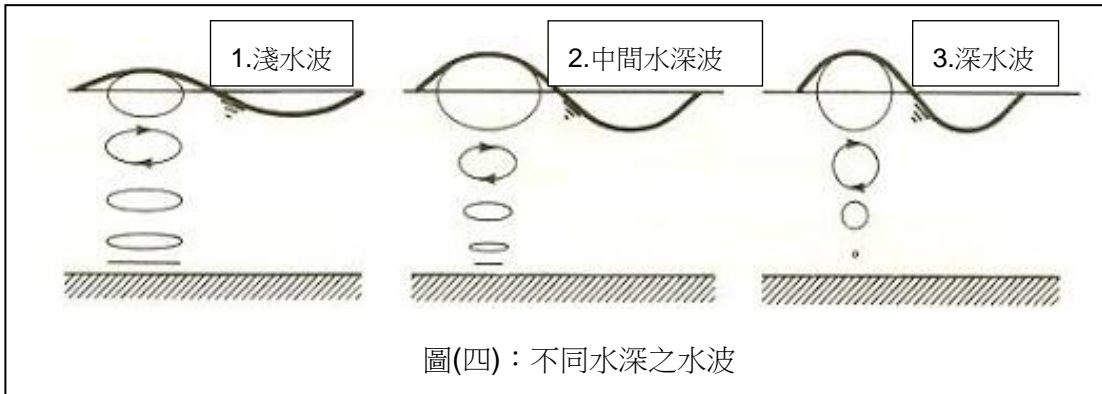
(一)波高 (H)：任一波峰與其相鄰波谷間之垂直距離，波能與其平方有關，即

單位面積波能為： $\frac{\rho g H^2}{8}$ ，其中 ρ 為液體密度。

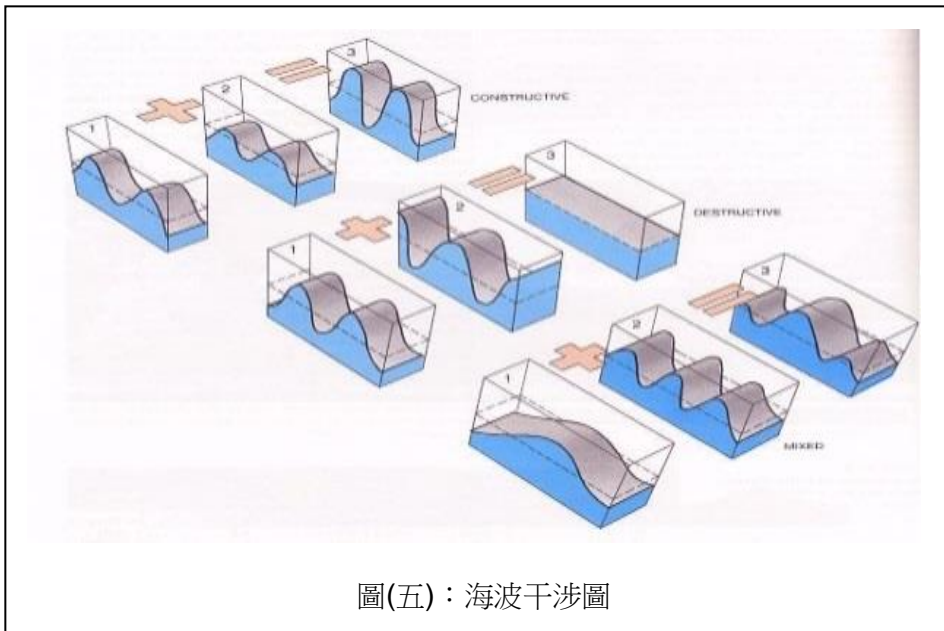
(二)深水波：水深比一半波長 (L/2) 深。

中間水深波：水深介於 L/2 跟 L/20 之間。

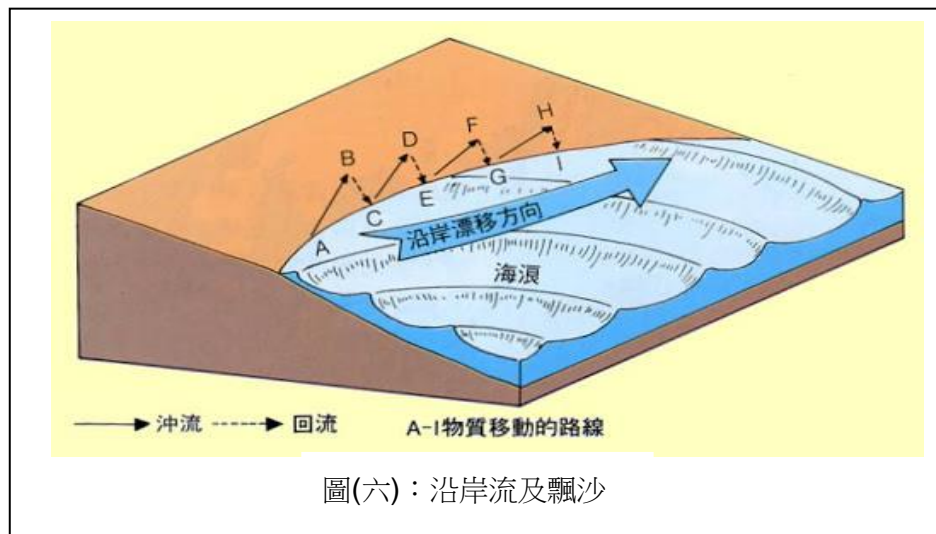
淺水波：水深比廿分之一波長 (L/20) 淺。



(三)波浪干涉：在海面上觀看到的混亂波浪場便是由許多大小不等、方向與頻率各異的波浪所疊加而成(圖五)。



(四) 沿岸流：是指波浪推向岸邊，有時波前（波列）並不平行海岸線，波前與海岸線夾一交角，因此造成平行於海岸線的水流(圖六)。



圖(六)：沿岸流及飄沙

資料來源：

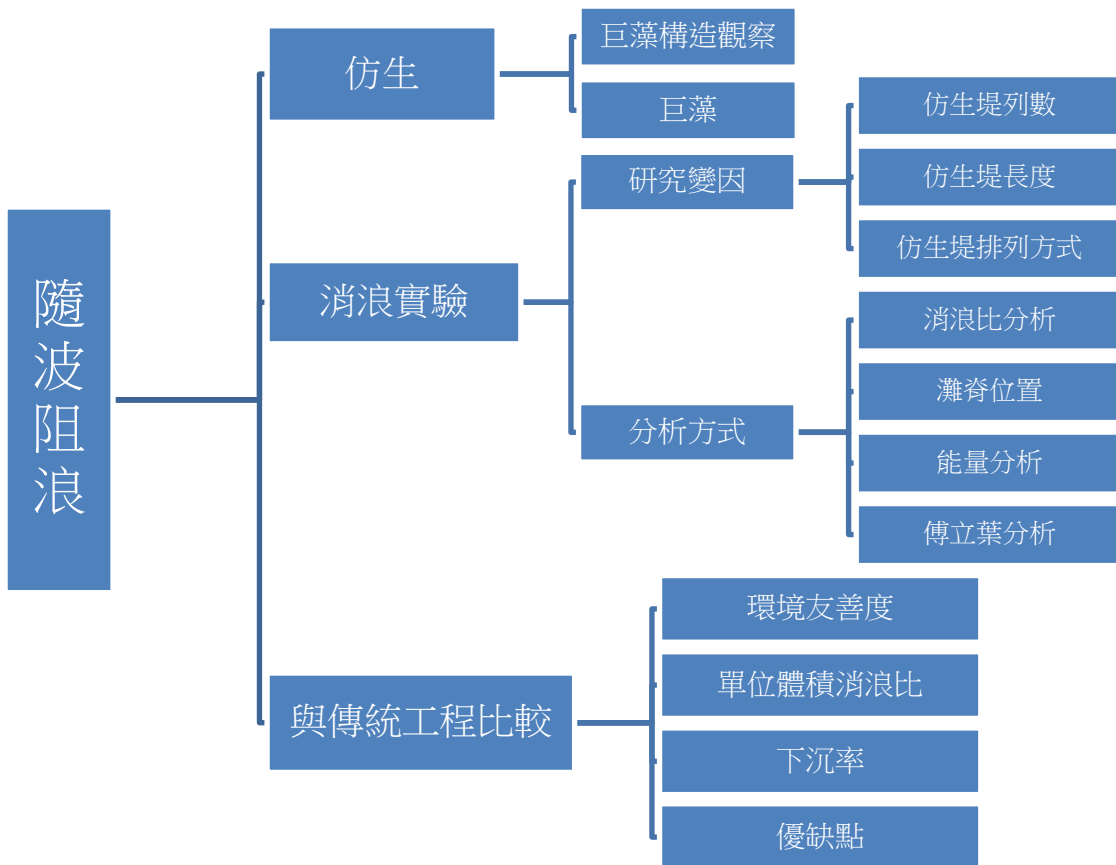
(1) 物理海洋 ABC

http://w3.oc.ntu.edu.tw/chap7/chap7s2.htm?fbclid=IwAR2L4vqQH1naBemVme38u86unTM-LT1EJE04Q_zExb2qX64tkOnmpgioVQ

(2) 生態型海岸保護工法：

<https://www.ihmt.gov.tw/periodical/pdf/B0951310.pdf?fbclid=IwAR3cPWqjgUBxU7n9YG1IAm1slyfZ8olxK6dBQLnb879UXWLD1pPgGFTync8>

依據上述欲探討之方向，將研究架構如下



圖(七)：架構圖

參、研究目的

- 一、觀察巨藻樣貌並文獻整理各種不同消浪方式對於生態之影響及其消浪能力
- 二、探討不同排數仿生堤的消浪能力
- 三、探討不同長度仿生堤的消浪能力
- 四、探討不同排列方式仿生堤的消浪能力

肆、研究設備及器材

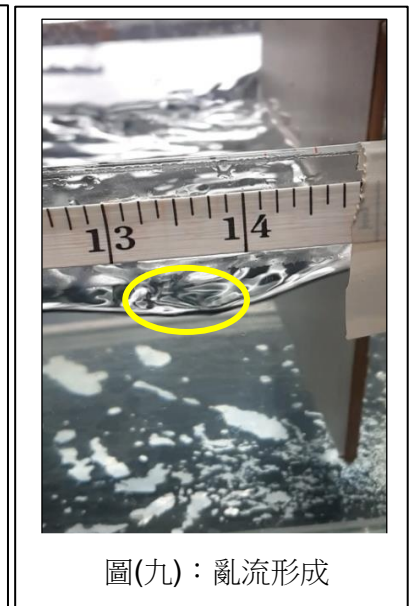
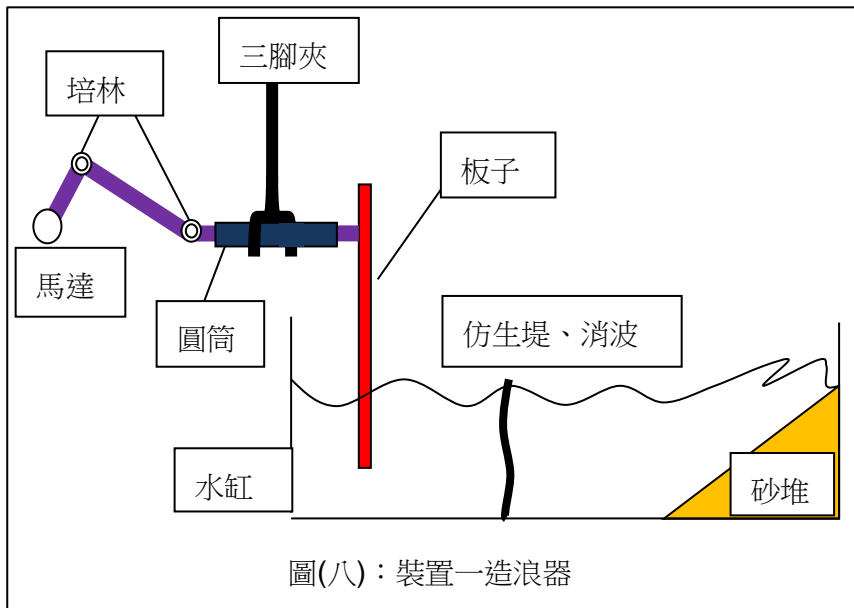
水缸(210*55*30cm)	木板	砝碼 100g 數個	沙
3D 列印機	電源供應器(0~50V)	塑膠片、保麗龍球	Tracker 軟體

伍、研究裝置架設及器材製作

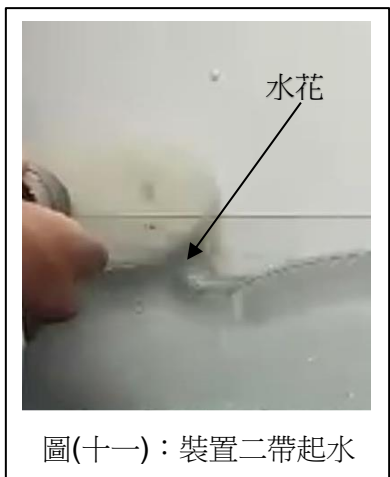
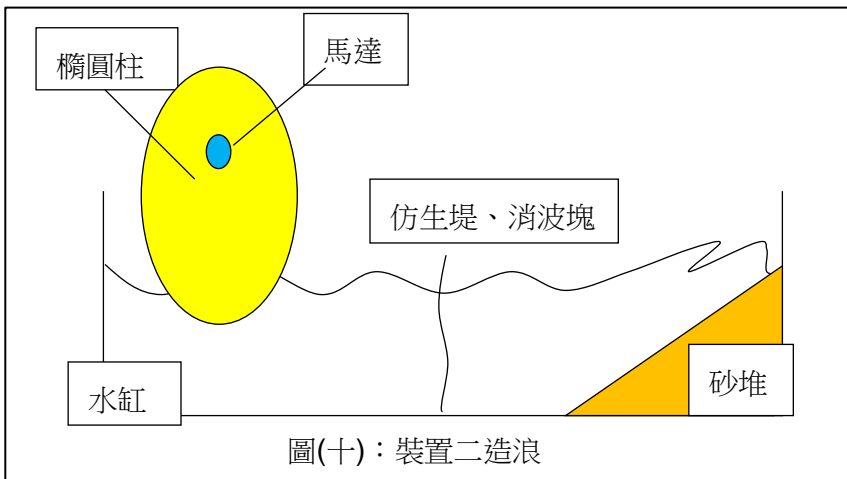
一、造浪裝置

本研究無法於真實海岸進行實驗，故須製作縮小比例的造浪池，以利研究之進行，因此初步需先設計並測試適當的造浪裝置。

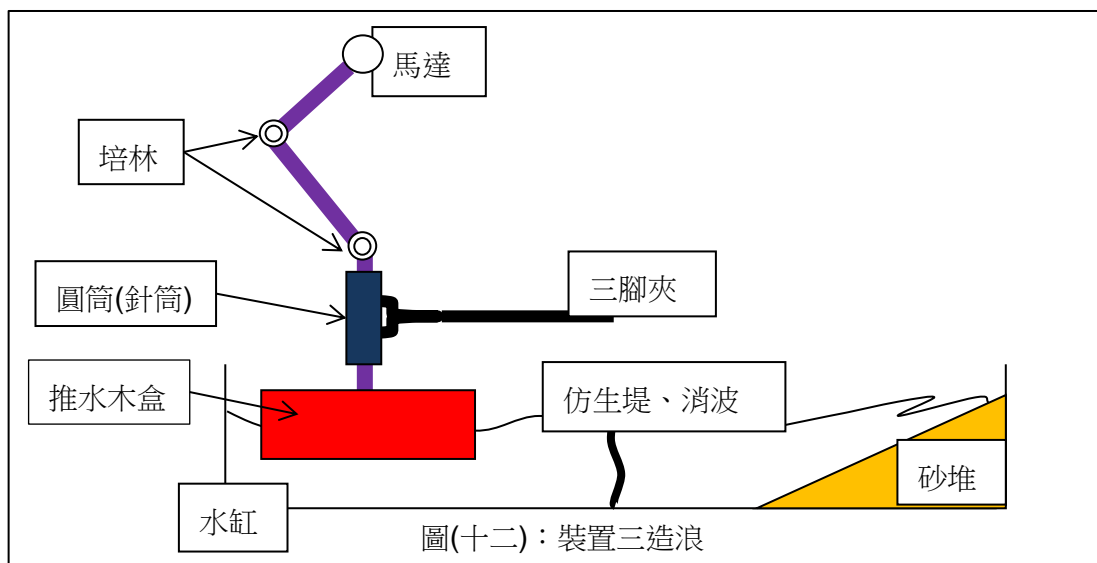
(一)第一代：利用類似活塞(圖八)的結構，使馬達轉動時，板子可以呈現簡諧運動，此種造浪器通常模擬整個水層速度一致的波，如海嘯。但板子在運動時無法與兩壁完全貼齊，導致常有水流通過，會形成亂流(圖九)。



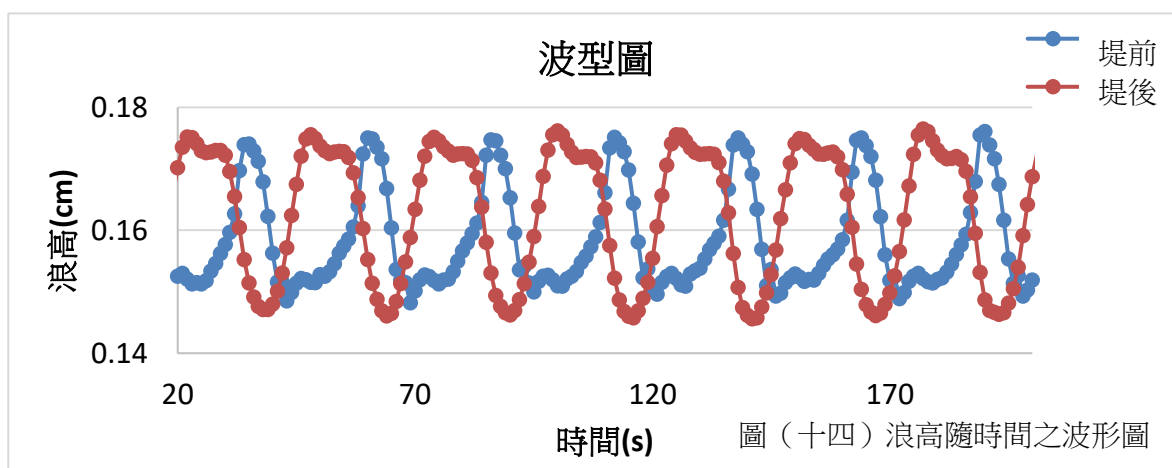
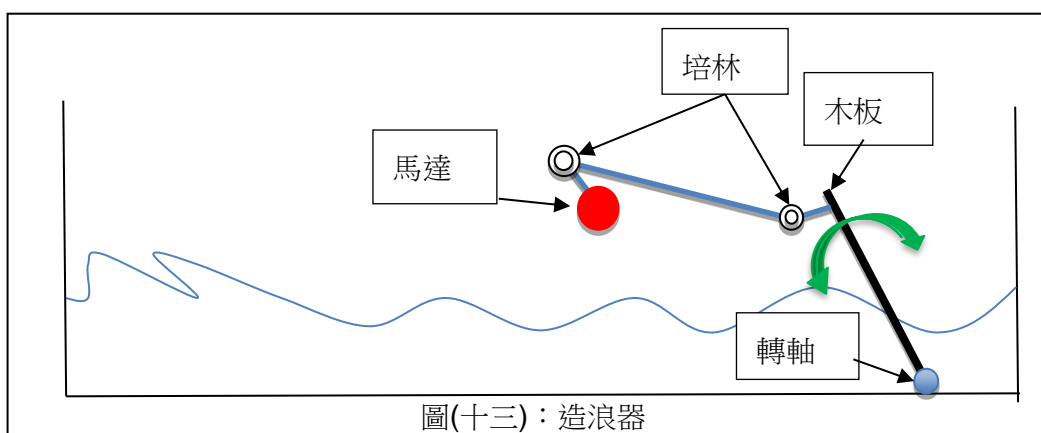
(二)第二代：利用馬達帶動柱體推動水流往前(圖十)，使用橢圓柱體是為了使波更連續，更接近正弦波。但橢圓柱轉動時會吸附水滴(圖十一)，到一定高度落下後產生點波源影響波型。



(三) 第三代：與想法一相同原理，但改成上下推水(圖十二)，可改善側邊有渦流之現象。但紅色木盒推水時壓力過大，馬達無法承受

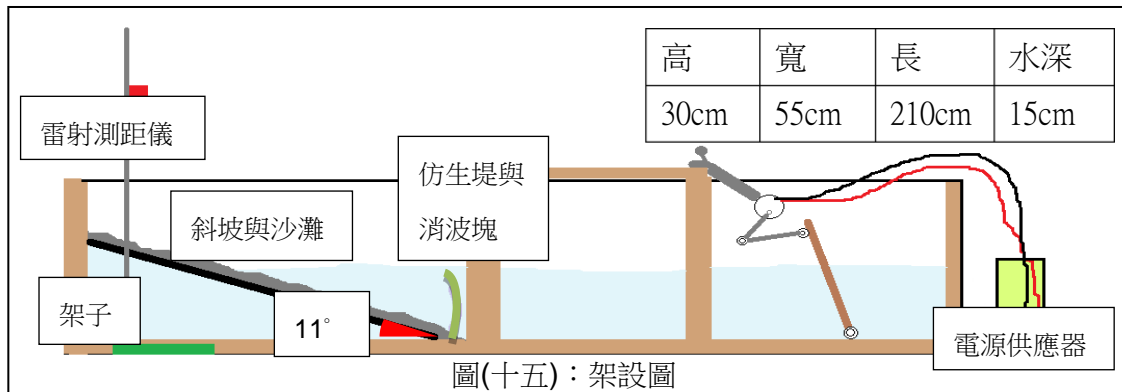


(四) 第四代：利用馬達帶動以培林及鐵棒製作的關節使木板前後行似角簡諧運動(圖十三)，在前後運動中帶動水而產生波浪，此造浪器的特點在於因木板相對於轉軸作轉動時，木板上的不同點所造成的力矩不同，因此可模擬與風生浪相似的情形。



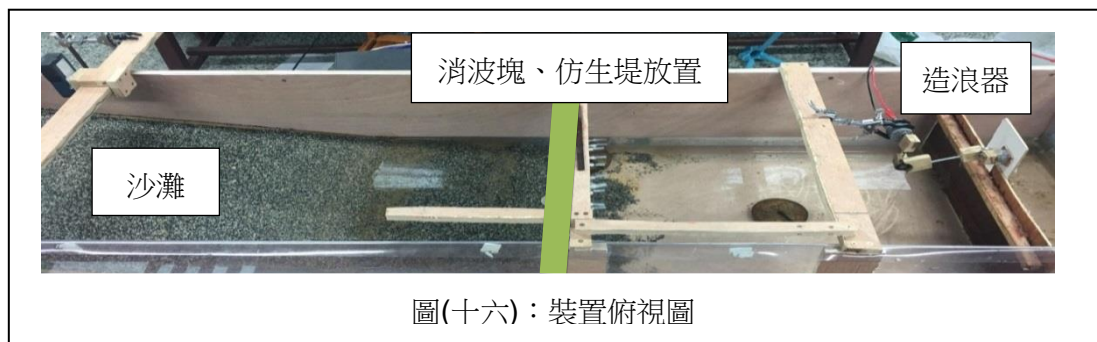
二、實驗器材架設

(一) 器材架設圖



圖(十五)：架設圖

(二) 實際俯視圖



圖(十六)：裝置俯視圖

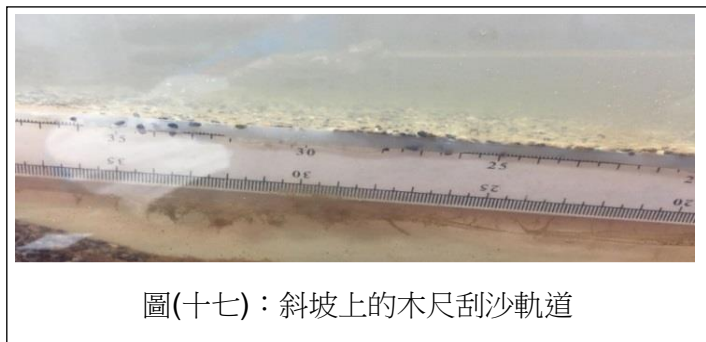
(三) 水缸及波浪比例

縮小倍率：100，以水缸製作後水深的深度反推離岸堤深度而得。

項目	實際	縮小後
消波塊大小	3~5m	5m/100=5cm
浪高	0.05~0.3m	0.3m/100=0.3cm
週期	4~7s	$\frac{7s}{\sqrt{100}} = 0.7s$
波長	50~120m	50~120m/100=50~120cm
水深	離岸堤深度 8~15m	15cm

(四) 岸邊裝置

將岸邊坡度先用珍珠板固定為11°，在珍珠板上鋪上砂粒（1mm \geq 粒徑 \leq 2mm），並在軌道兩旁架上木尺（如圖十七）用於每次實驗後進行刮沙回復沙岸原貌，確保實驗重複性。



圖(十七)：斜坡上的木尺刮沙軌道

三、仿生堤製作

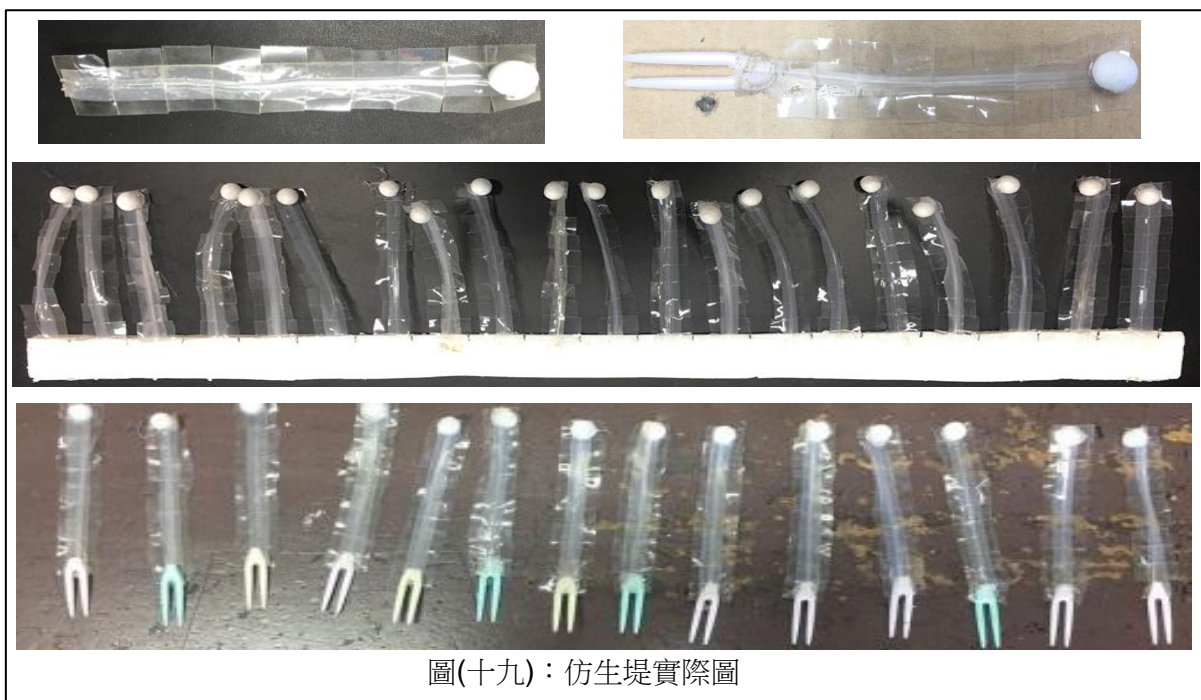
(一)製作構思：文獻觀察巨藻外觀型態

巨藻柄部成圓柱狀，葉片為許多平行排列的狹長小片，具有氣囊使藻體上半部平漂浮水面。大多數巨藻可以長到數十米。巨藻的中心是一條主幹，其葉片上生有氣囊，氣囊可以產生足夠的浮力將巨藻的葉片乃至整個藻體托舉起來。



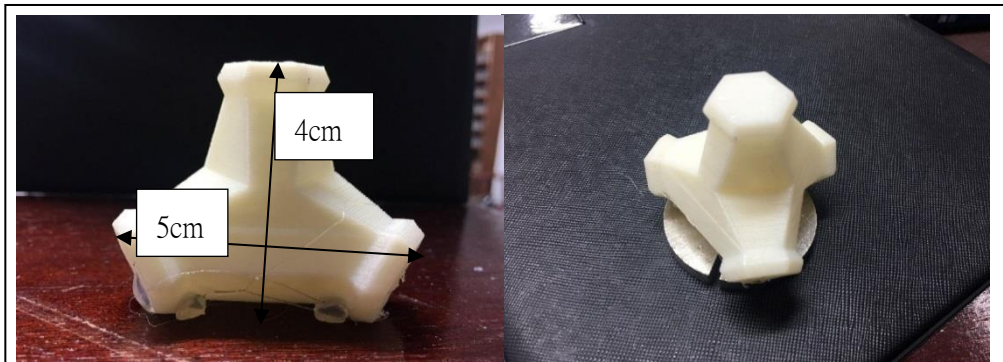
(二) 仿生堤製作

1. 先將軟塑膠片切割成 $2 \times 1 \text{cm}^2$
2. 以 1cm 寬的膠帶黏貼在釣魚線上
3. 將切割後的塑膠片黏上後並在仿生堤最頂端的葉片處貼上保麗龍球
4. 在仿生堤底部黏上叉子作為固著器

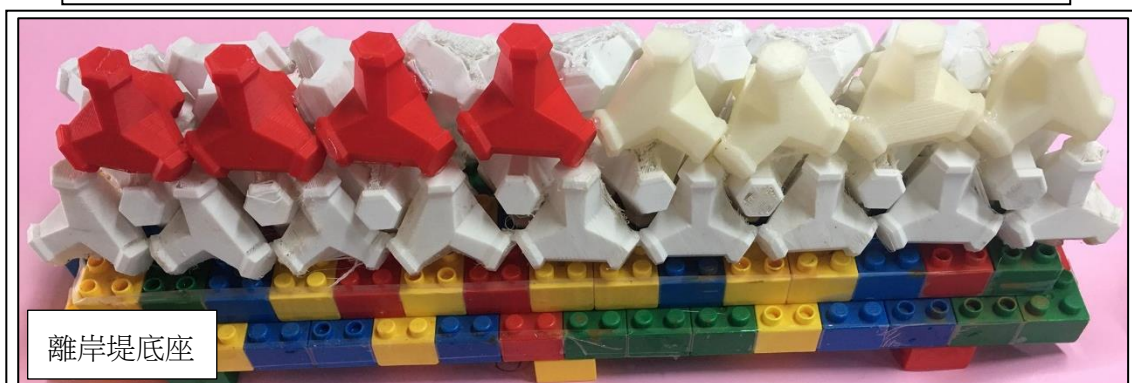


四、消波塊（林克塊）的製作

(一)利用 3D 列印機印出後，在其下黏砝碼使其比重與一般消波塊（2.7）相近。



圖(二十)：消波塊俯、側視圖



圖(二十一)：實驗六擺放圖

陸、初步實驗過程及結果

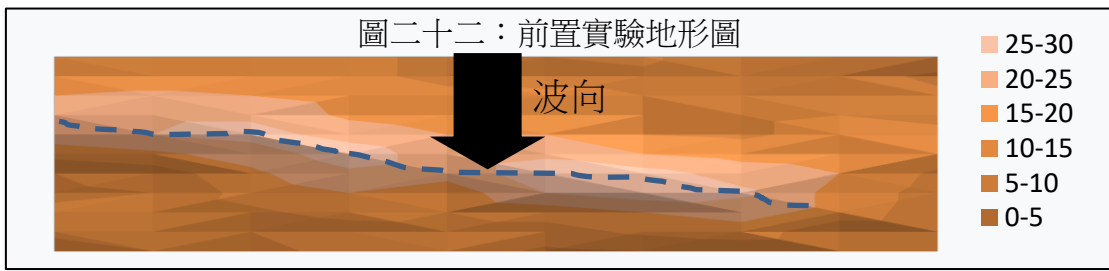
一、前置實驗：

(一)實驗方法：在實驗中未採用任何堤防，直接開啟造浪器進行造浪。

1. 斜坡不放置任何結構物
2. 開啟造浪器（電壓 12V）進行造浪 10 分鐘
3. 在水槽側邊拍攝海浪經過離岸堤前與堤後的運動情形
4. 以 tracker 分析波高情形
5. 關閉造浪器後以雷射測距儀測量實驗後在沙堆斜坡上的地形分布
6. 重複 2~5 步驟 5 次

(二)實驗結果：

在實驗中先發現有大沙丘形成後，在未形成沙丘處具有回流，待十分鐘後沙丘趨於平緩行成一大致平行海岸線的灘脊（圖二十）（一種在高潮線附近，由沉積物組成的堤狀堆積）。

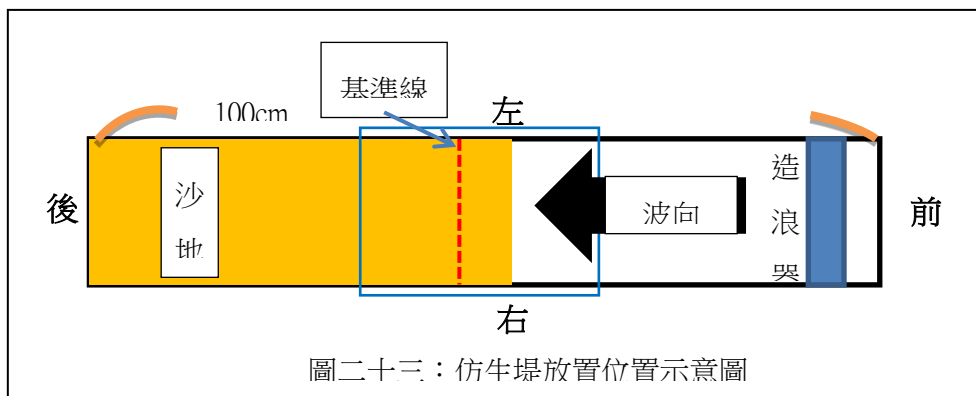


二、實驗一：仿生堤穩定所需質量

(一)為了探討不同消浪方式所需質量，我們改變底座砝碼數觀察最少需要砝碼數可以穩定

1. 將仿生堤放置在離斜坡底部上 5cm 處（如下圖二十三）
2. 開啟造浪器（12V）造浪
3. 在仿生堤下裝設砝碼，並觀察其穩定狀況
4. 紀錄下其穩定時的砝碼質量

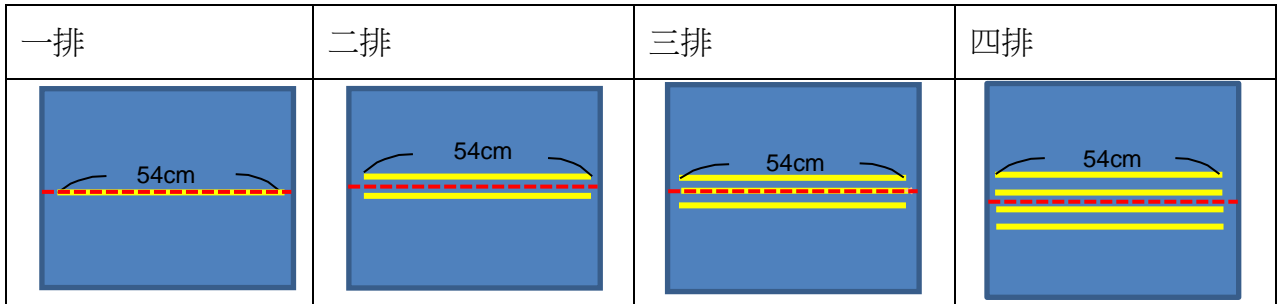
(二)實驗一結果：發現一排的仿生堤（20 株）需要 700g 才能穩固的矗立於浪擊中，若是將其底座上覆土，則只要 400g 就能穩定住。



三、實驗二：仿生堤排數與消浪能力關係之探討

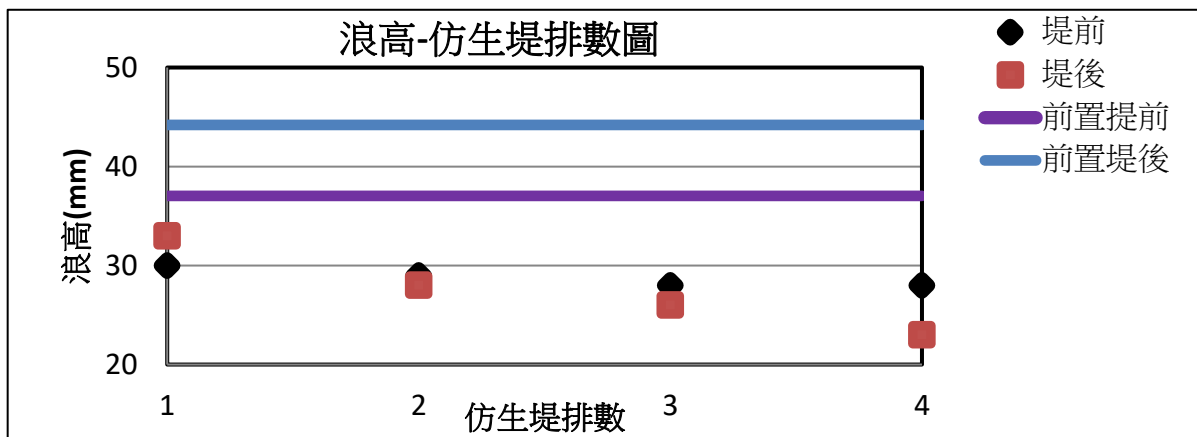
(一) 實驗方法：

1. 將仿生堤放置在離斜坡底部上 5cm 處（如上圖二十三）
2. 重複前置實驗 2~5 步驟
3. 改變不同排列數為（1、2、3、4 排如下表）



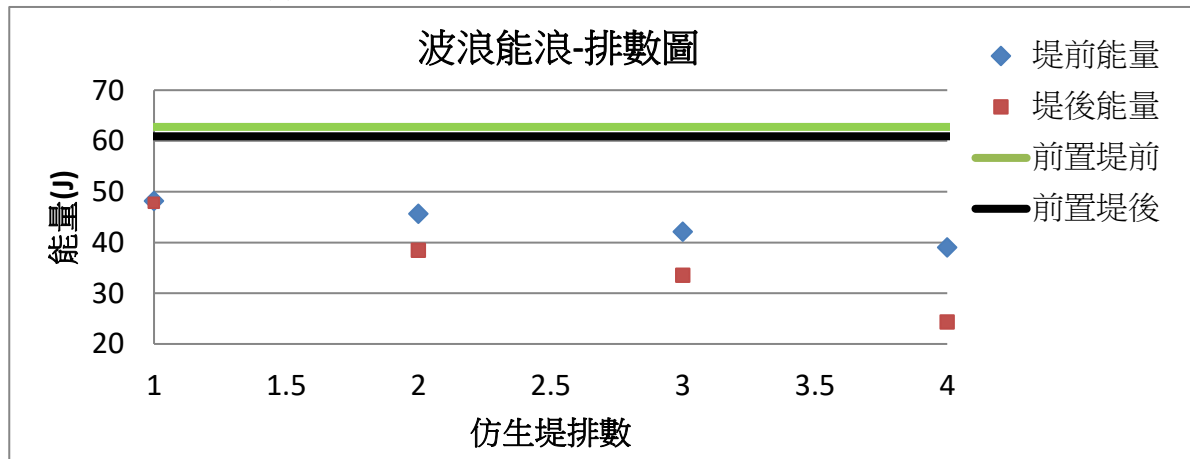
(二) 實驗二結果：

1. 浪高分析結果：

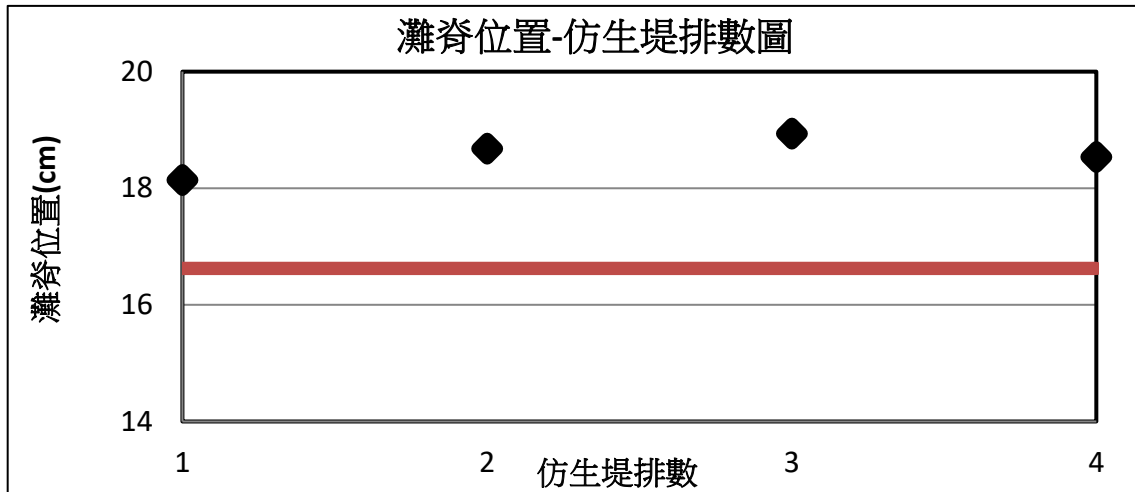


由此圖可看出在前置（0 排）與只有一排仿生堤的實驗中，波高在堤後皆高於堤前，而在二排、三排及四排的實驗中，堤後的波高低於堤前。

2. 波浪能量分析：



3. 灘脊離岸位置分布結果：



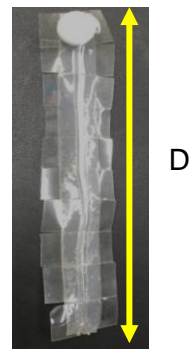
上圖中紅線為前置實驗之灘脊位置，黑點則為不同仿生堤排數之灘脊位置。

可看出灘脊位置相較前置實驗更遠離海岸，但 2~4 排趨於定值。

四、實驗三：一排不同長度仿生堤實驗：

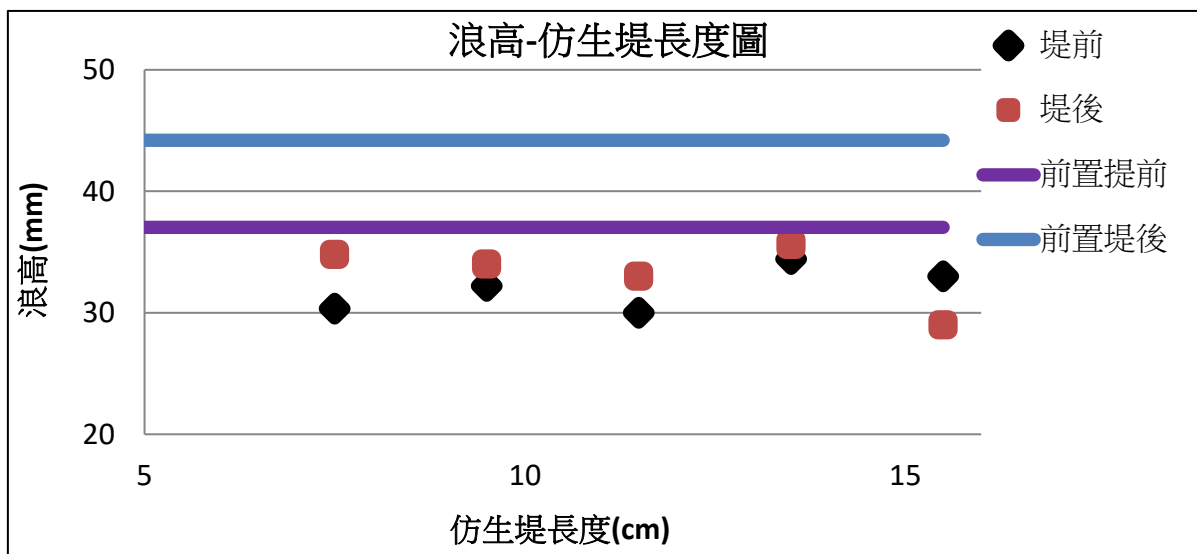
(一) 實驗方法：

1. 將仿生堤放置在離斜坡底部上 5cm 處（如下圖二十三）
2. 重複前置實驗 2~5 步驟
3. 改變不同單一仿生堤長度 D 為(7.5、9.5、11.5、13.5cm)

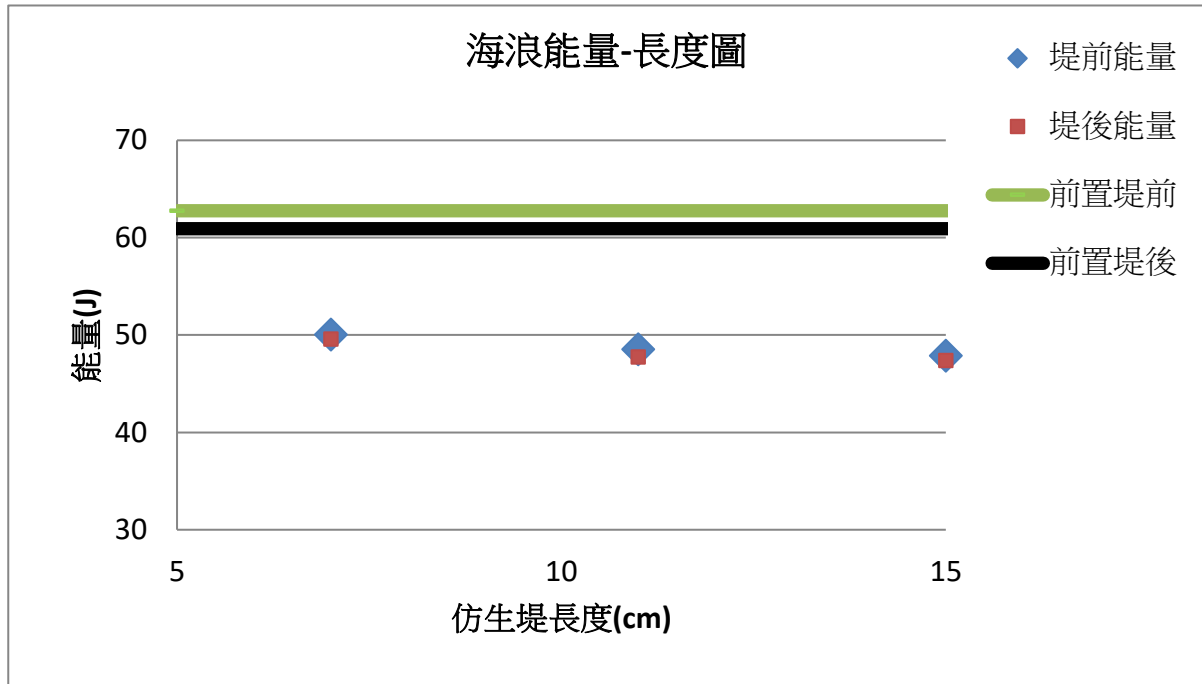


(二) 實驗三結果：（不同長度）結果

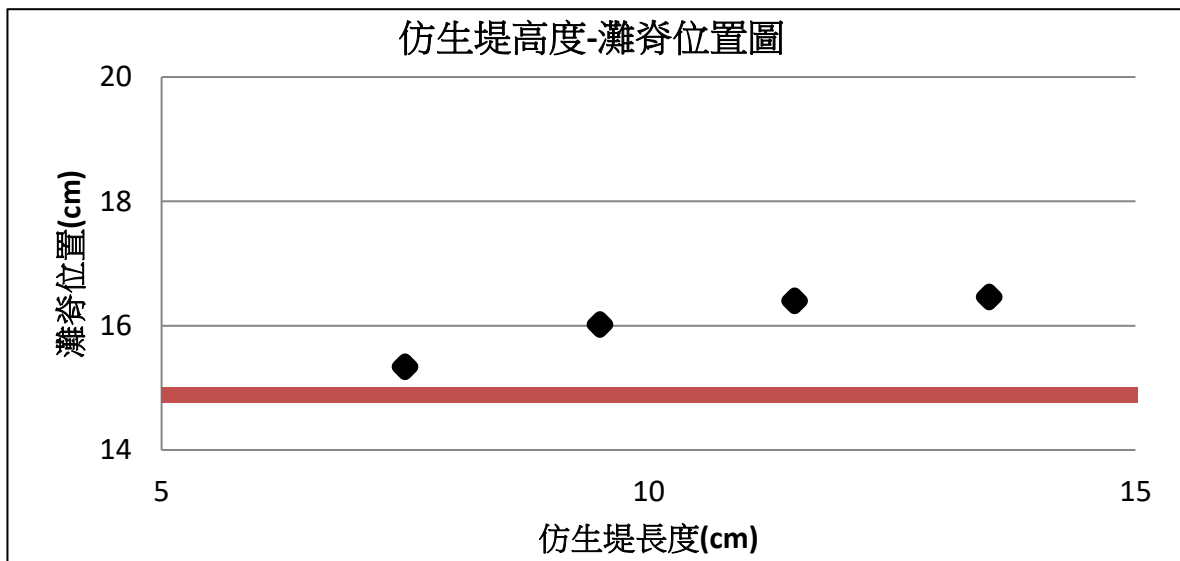
1. 波高分析結果



2. 波浪能量分析



3. 灘脊離岸位置分布結果：



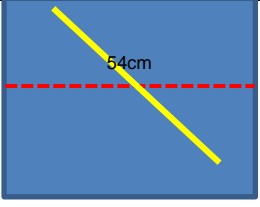
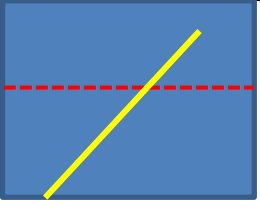
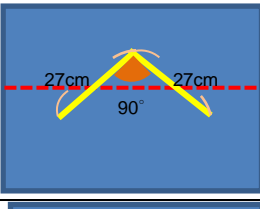
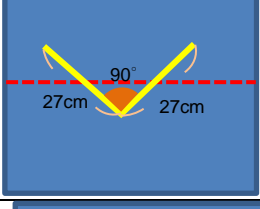
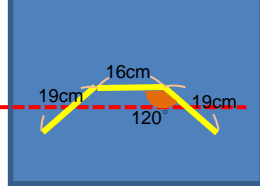
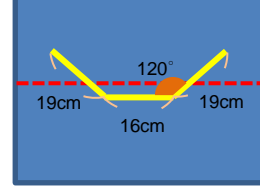
上圖中紅線為前置實驗之灘脊位置，黑點則為不同仿生堤長度之灘脊位置。

由此圖可看出當仿生堤長度越長，其灘脊位置離斜波頂端越遠。

五、實驗四：仿生堤排列方式與消浪能力關係之探討

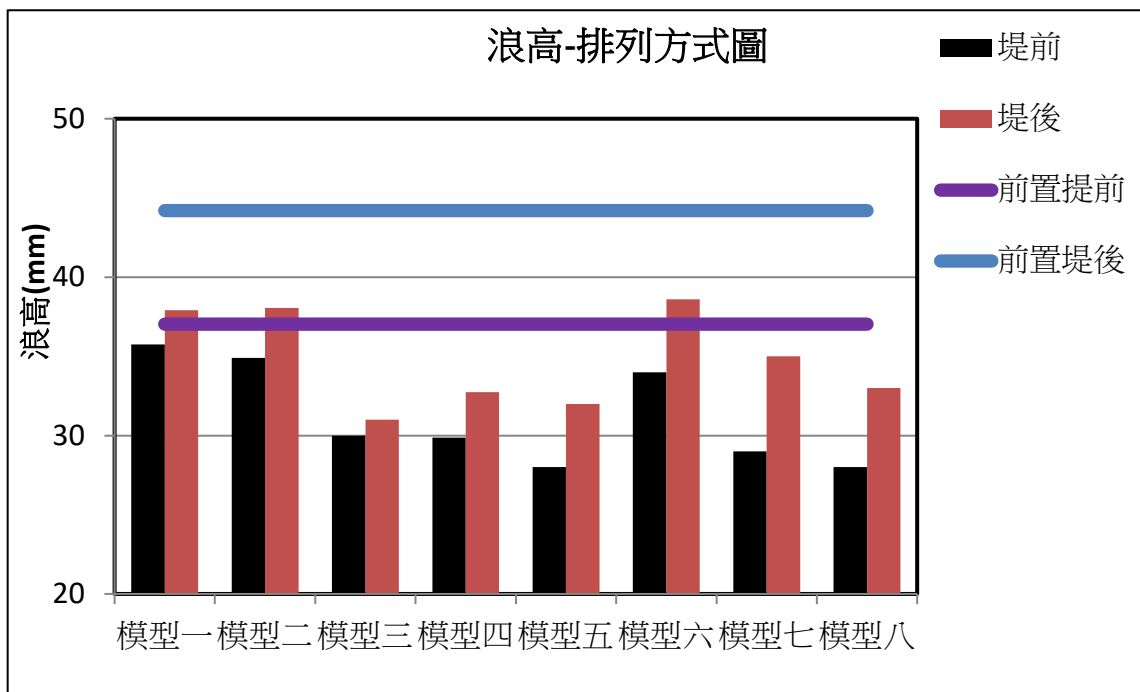
(一) 實驗方法：

1. 將仿生堤放置在離斜坡底部上 5cm 處
2. 重覆前置實驗步驟 2~6
3. 改變不同排列方法如下表(浪皆由上往下)

模型一： 斜向（左前右後）		模型二： 斜向（右前左後）	
模型三： V 型（開口向後）		模型四： V 型（開口向前）	
模型五： 六角形（開口向後）		模型六： 六角形（開口向前）	

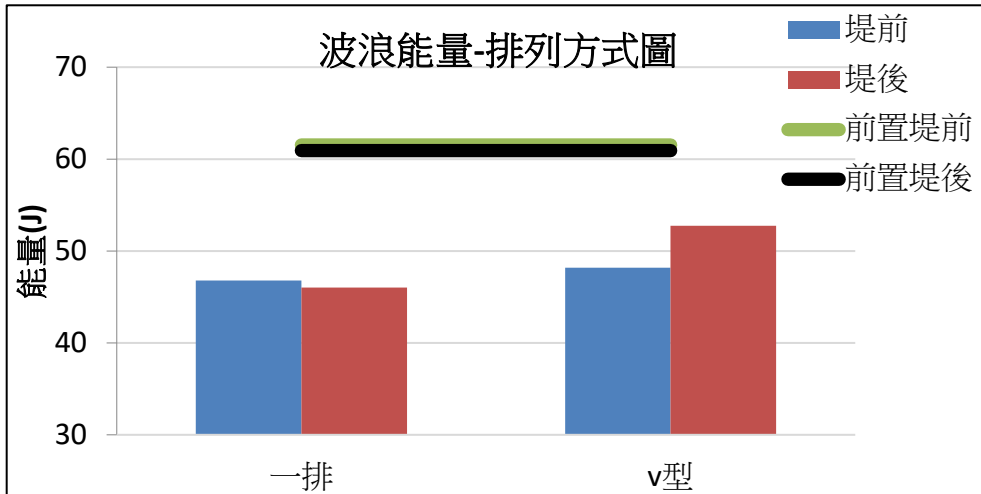
(二) 實驗結果：

1. 浪高拍攝結果

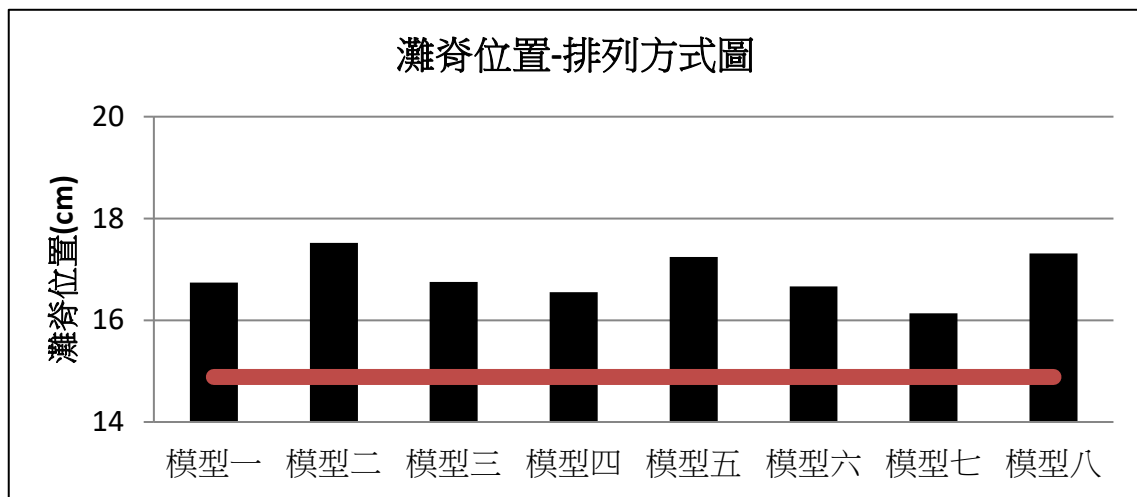


由此圖可看出其堤後波高皆高於堤前波高。

2. 海浪能量分析結果



3. 灘脊分布結果



由此圖可看出模型一（V上）的灘脊位置離海岸線最遠（數值越小），而模型六（蜂窩上）離海岸線最近（數值越大）。

六、實驗四：消波塊的消浪能力實驗

(一) 實驗方法

1. 將實驗一的步驟 1 中仿生堤改為消波塊
2. 重複實驗一中的步驟 2~5
3. 每個實驗皆進行五次

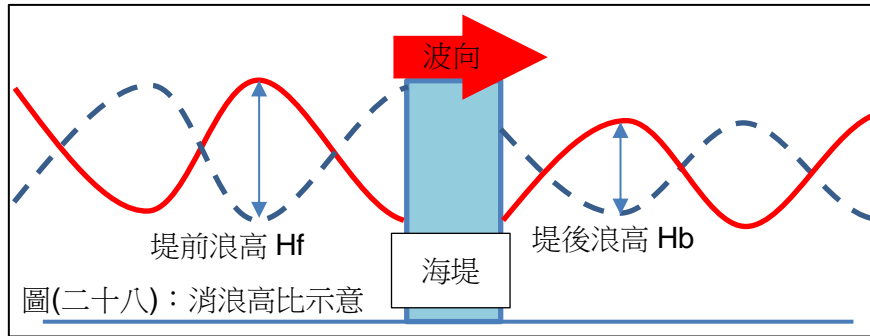
(二) 實驗四（消波塊）結果

1. 消波塊體積：47cm³ 質量：114.5g 比重：2.4
2. 波高分析結果，消波塊前為 31，經過消波塊後為 24
3. 灘脊平均位置為 22.19 公分位置

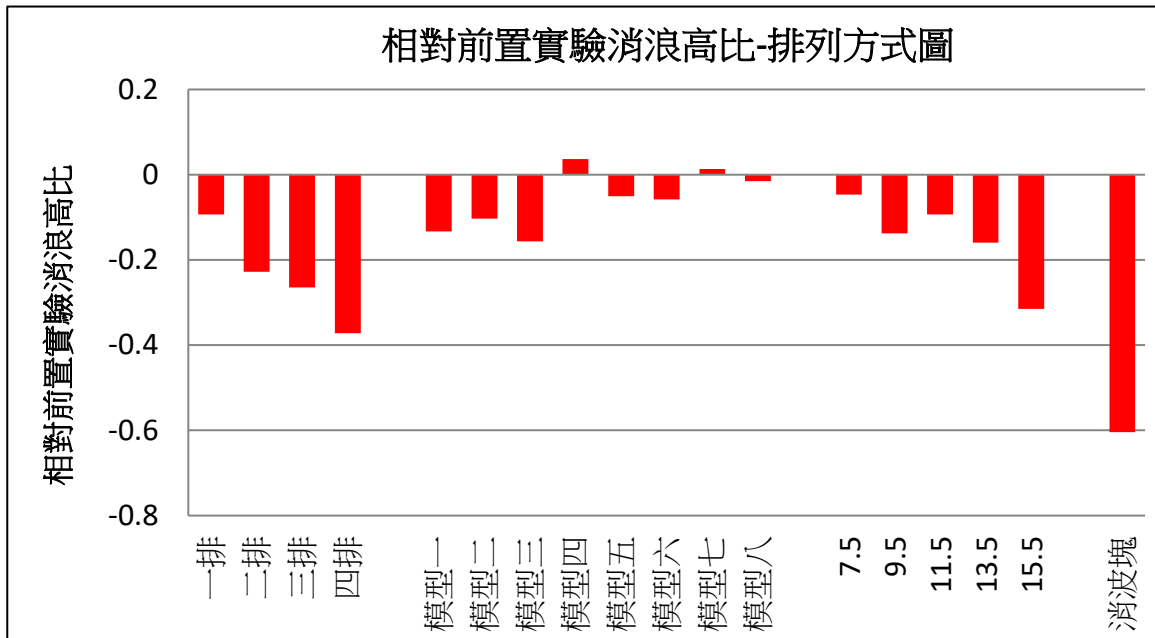
捌、討論

一、消浪高比討論

定義：消浪高比 = $\frac{H_b - H_f}{H_f}$



我們將每個實驗的數據皆減去前置實驗數據算出差值比較。



(一) 實驗二浪高討論：

在無堤防與只有一排仿生堤的實驗中， H_b 大於 H_f 是因為當浪接近陸地時，會行成碎浪。在不同排數仿生堤實驗消浪比隨仿生堤排數增加而減小，推測是因為仿生堤可視為一種阻尼，當波浪經過的阻尼越大，浪所耗能就越多，因此消浪比越好(負)。

(二) 實驗三浪高討論：

實驗三中分析浪高後做出消浪比，發現當仿生堤長度越長消浪比越小，推測因為當長度越長時，浪需帶動的仿生堤長度越長，因此波浪所受阻尼越大，消浪效果越好(負)。

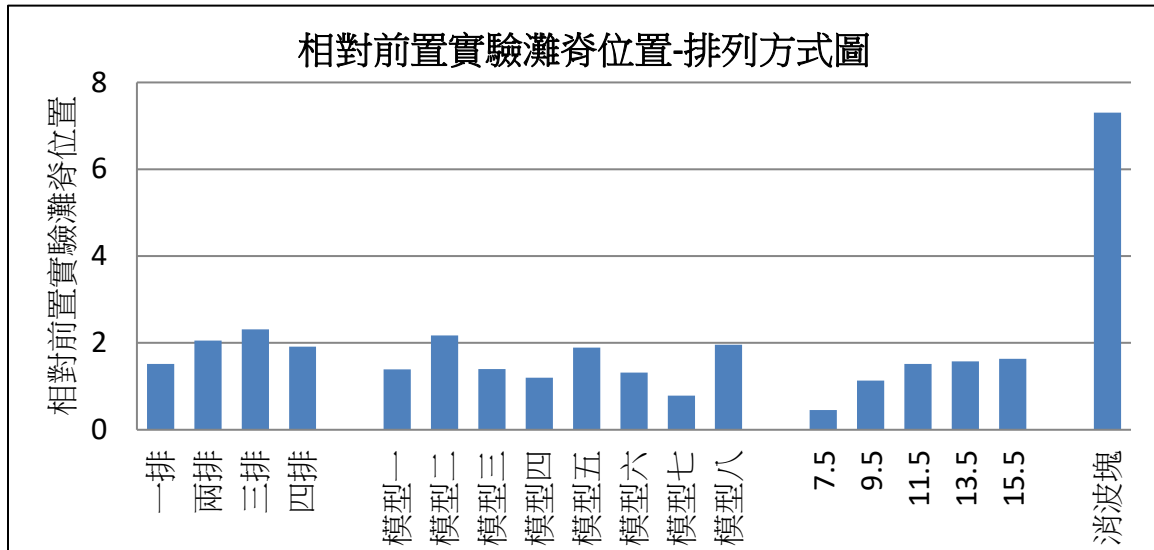
(三) 實驗四浪高討論：

可發現不同排列方式的消浪能力皆與一排離岸堤相同無法減去碎浪的浪高增加，其中模型三(V 前 90°)的排列方式消浪能力最好，推測其與 V 型結構將浪破壞性干涉的緣故。

(四) 實驗五浪高討論：

發現消波塊離岸堤消浪比最小(-40.0%)，推測因其與仿生堤差異在於消波塊以其本身的高剛性係數，將波浪直接碰撞消能，而仿生堤則與水擺動順勢消能所以效果會稍差於消波塊。

二、灘脊位置討論



(一) 實驗二灘脊討論：

發現前置實驗的灘脊離海岸線最遠(數字最小)，隨著仿生堤排數的增加灘脊會有向海岸線靠近(數字加大)的趨勢。推測為海浪波高降低，海浪的動能也因此降低，所以其所能將沙帶上的距離減短。而其中四排的灘脊位置較三排的靠後，這代表四排侵蝕高度較高，我們推測是因為當四排所消滅的浪高較多，會延後浪破碎的位置(波長/波高 $>1/7$)，因此波浪能上侵的距離雖然較短，但能侵的高度卻因延後而變高。

(二) 實驗三灘脊討論：

可發現當仿生堤長度越大，灘脊位置會較靠近海岸線(數值較大)，推測為海浪波高降低，海浪的動能也因此降低，其所能將沙帶上的距離減短。

(三) 實驗四灘脊討論：

分析實驗四的灘脊分布後，發現其與一排的差異並沒有很大，推測因為排列方式實驗也只有使用一排仿生堤，而當中模型三(V型前)的分布離海岸線最遠，與波高消浪比最好的結果相反，推測是因為V型堤會將水往中央集中導致中央雖浪高減低但單位時間水量增大，回流加強而導致。

(四) 實驗五討論

發現消波塊離岸堤之灘脊位置最大，推測因其與仿生堤差異在於消波塊以其本身的高剛性係數，將波浪直接碰撞消能，因此波能較弱，而碎浪的侵蝕高度也較低，因此灘脊位置較靠近海岸線。

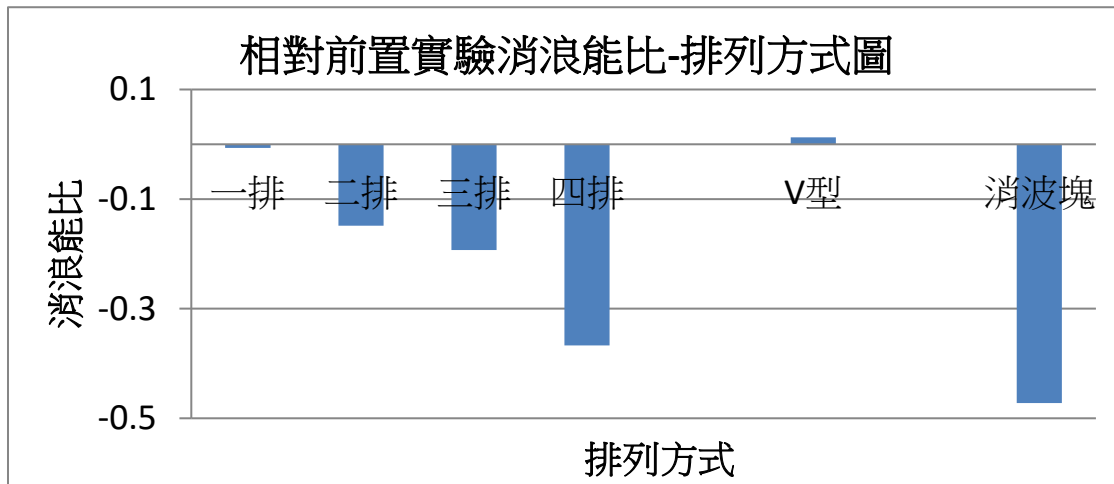
三、消浪能比討論

分析出每個實驗分別的堤前、堤後波長(λ)及浪高(H)。

可以計算出：波能 $E = \frac{g\lambda H^2}{8}$

定義：消浪能比： $\frac{Eb - Ef}{Ef}$

我們將每個實驗的數據皆減去前置實驗數據算出差值比較。

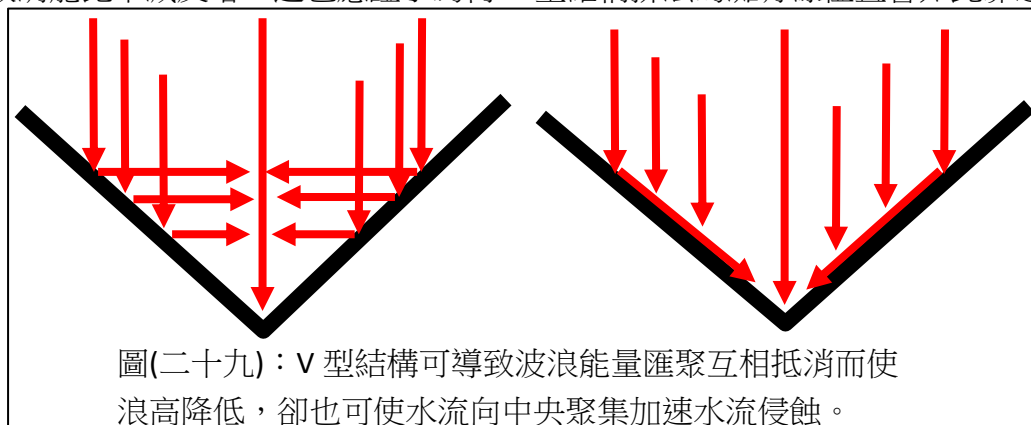


(一) 實驗二消能比討論：

在結果中，當消能比越小代表消浪能力越好，當排數越多代表波浪所受阻尼越大，所以其消能比也會越來越小(負)。

(二) 實驗四消能比討論：

我們儘針對消浪高比較好的 V 型結構波能進行分析，發現 V 型的波能經過堤防後沒有減少反增，這有違能量守恆，但因為我們測量的是單位時間內的波能，所以推測可能是因為 V 型結構會使波速加快，使波浪在單位時間能夠匯聚而放大部分波能，導致消能比不減反增，這也應證了為何 V 型結構排法的灘脊線位置會如此靠近海岸線。

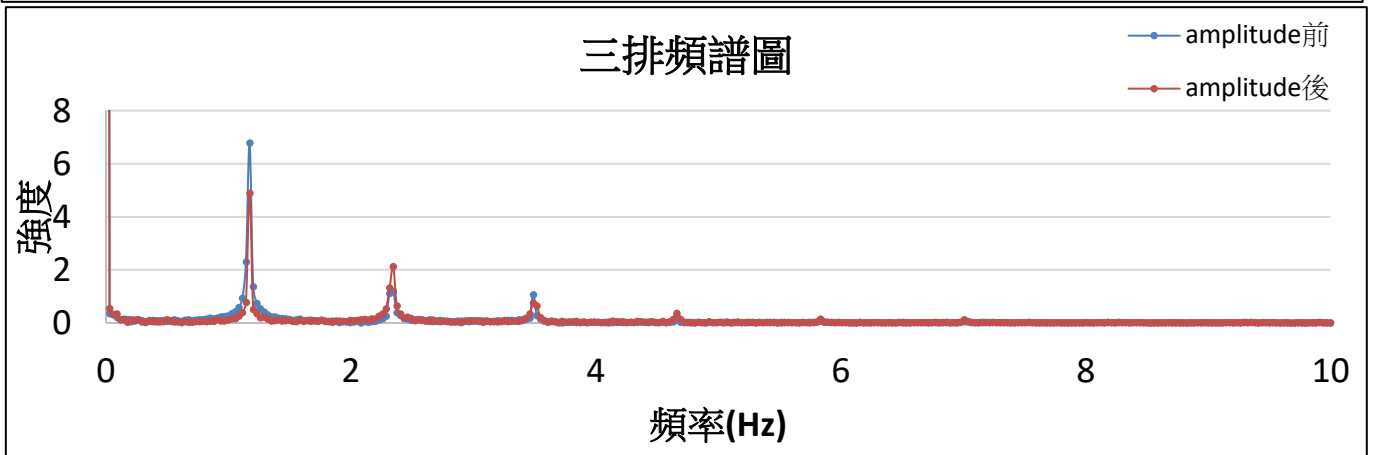
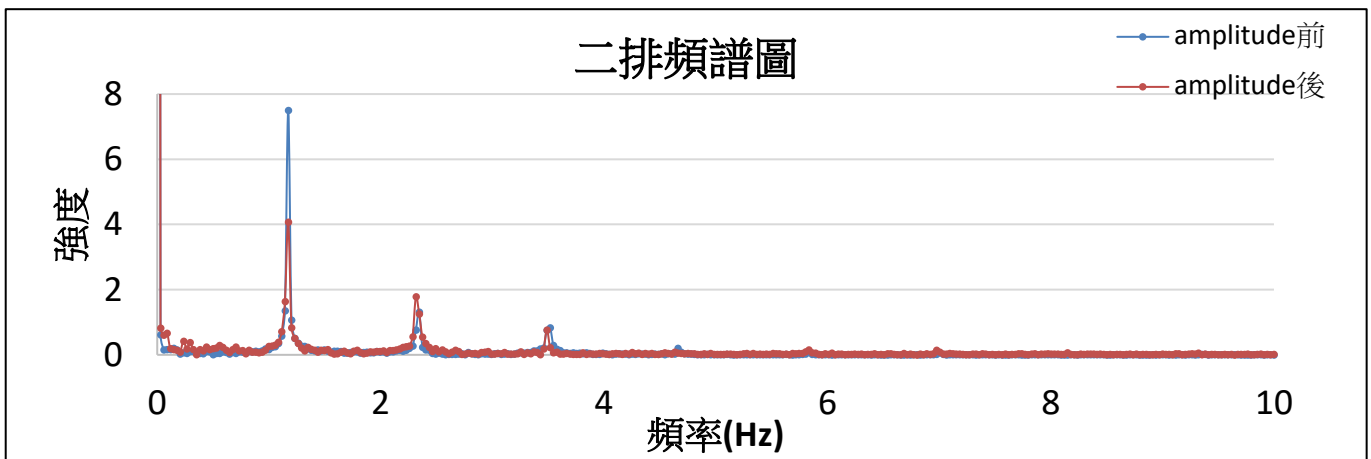
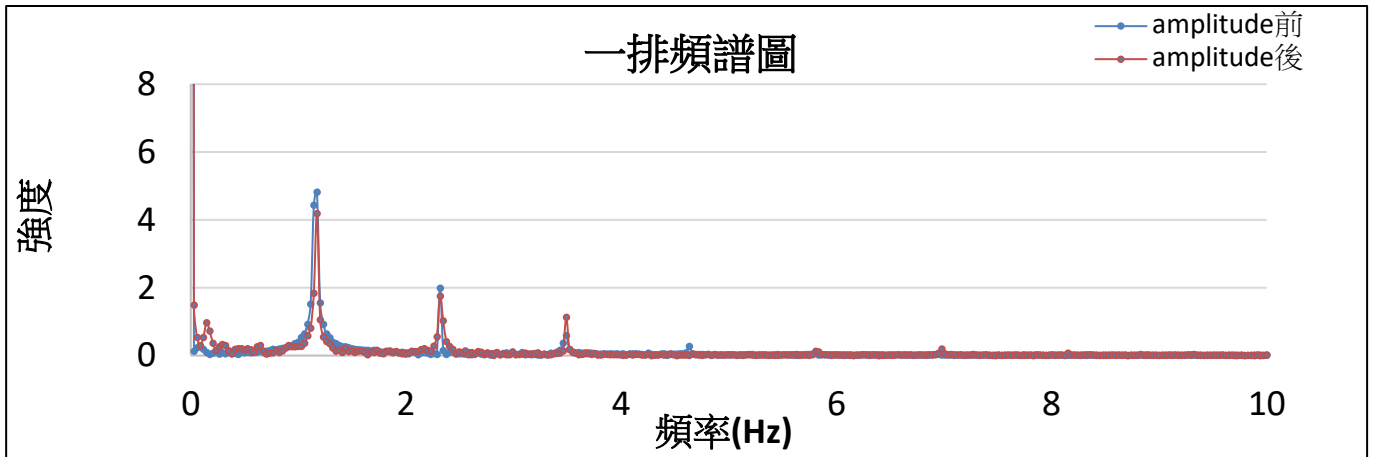


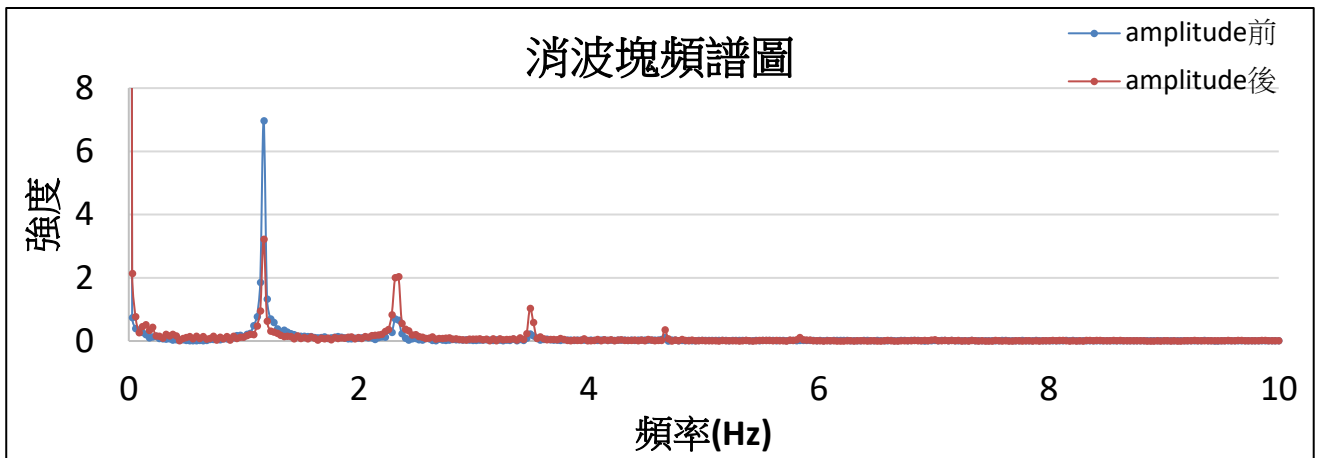
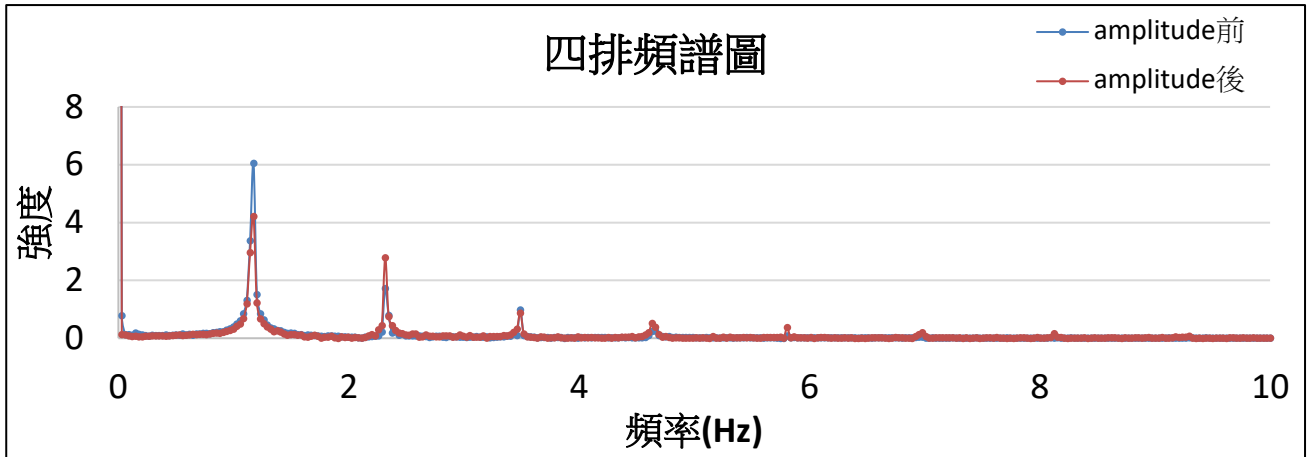
(三) 實驗五消能比討論

發現消波塊離岸堤之消能比最大，這與上述消浪高比與灘脊位置的推論一樣，所以擁有最好(負)的消能比。

四、 頻譜分析結果討論

頻譜分析討論：

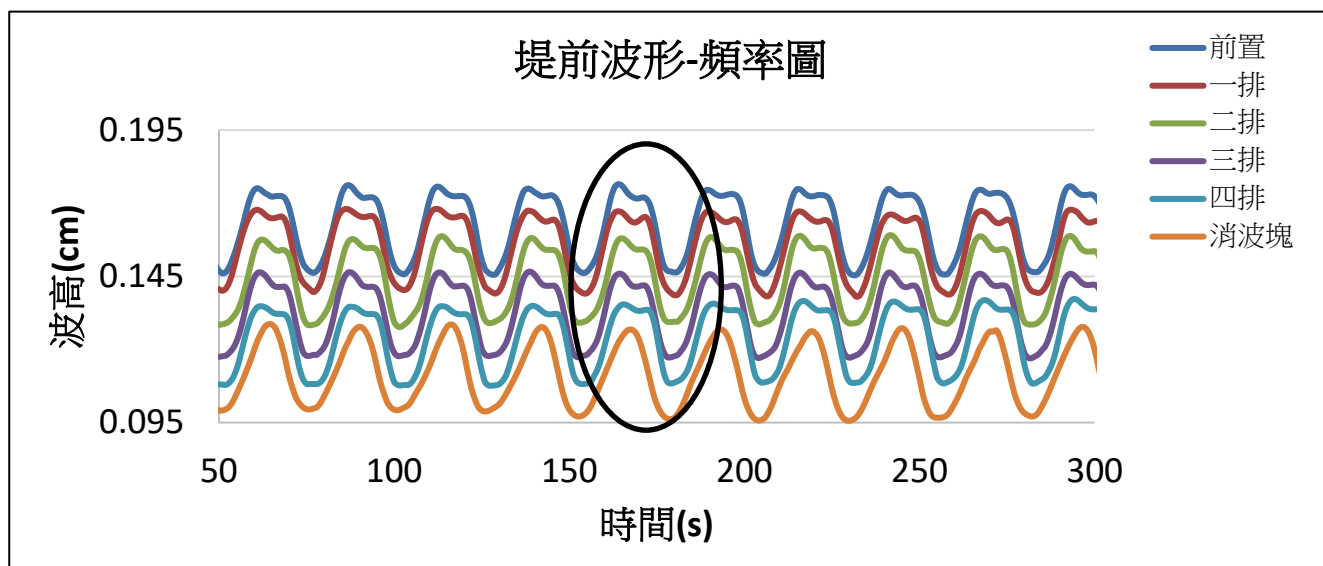




由頻譜分析圖可以發現不同排數的主頻頻率都相同但強度不一，代表反射波的頻率與相位幾乎與入射的波相同，這有可能是因為我們水缸的大小剛好使得此事的發生，或是我們採集數據點的兩處幾乎與半波長相等，所以才有這件事的發生。

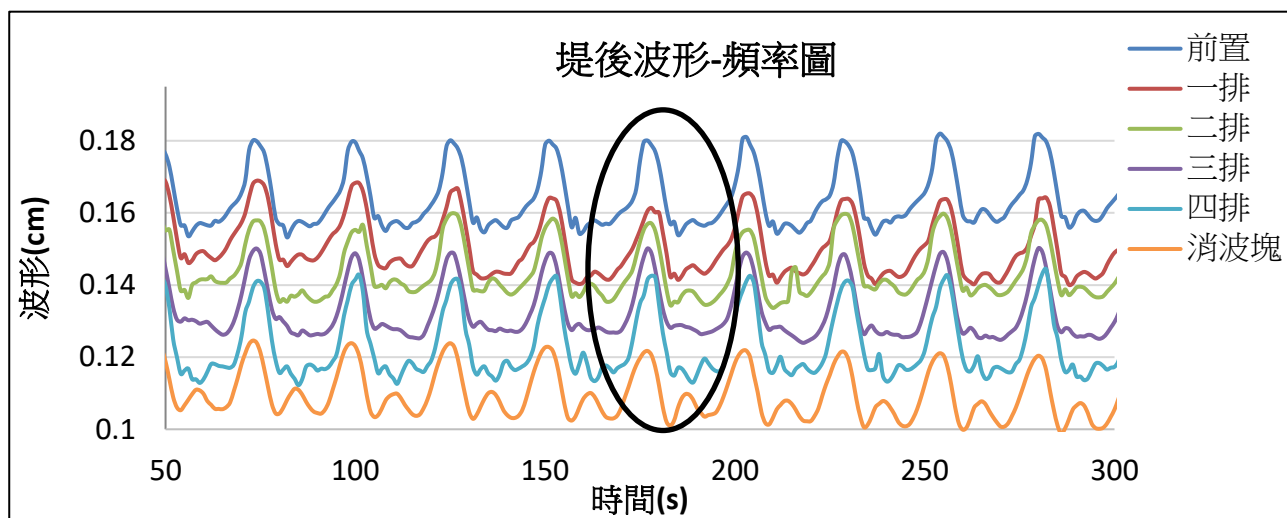
也可由圖發現在主頻項堤前強度會高於堤後，但在倍頻項堤後強度會高於提前，我們認為是因為在堤前浪所受到的反射波干擾較小使得能量集中在主頻的部分，但在堤後因為當浪接近斜坡地形時波速會不斷改變而產生一連串的速度不連續面，這些不連續面可視為一連串的反面，當浪接觸這些面便會發出反射波因此堤後得能量會被分散在這些反射波中使得主頻的能量降低，同使造成倍頻的增加。

此圖是將各個排列方式的堤前波形綜合在一張圖中。



綜合所有波形圖，我們發現除了消波塊之外，其於排法的波型圖在波峰處皆有一下凹現象，我們認為這是因為首先入射的波在岸邊會進行反射而與原波型疊加導致有一下凹現象，但是消波塊相較其他排法顯得較為堅硬，所以容易較其他排法在波與堤相碰時與產生一反射波，這使得該下凹現象因與堤前反射波相互干涉而消失，相較仿生堤，因為其結構較為柔軟所以無法產生明顯反射波而有維持下凹現象的發生。

因此反射波形成代表堤防所承受的力道較大，因為其是受到幾乎兩倍的動量(方向相反)，所以材質所受的能量較多，這也代表材質可能比較容易受到破壞，且堤前的反射與容易導至前方的堆積物如沙被沖散，當砂被反射波帶離，就有可能會使堤坊發生倒潰的現象。



此圖是將各個排列方式的堤後波形綜合在一張圖中。

綜合堤後所有波形圖我們可以發現所有排列方式的波形皆有改變，這與堤前該下凹的成因應該相同只是所疊加的位置不同，但可由圖發現消波塊的下凹處較圓滑，這可能是因為相較其他排列方式消波塊的堤後波浪能量較低，因此產生的反射波也來得弱，這導致在波形疊加上沒有像其他排法如此顯著的變形。

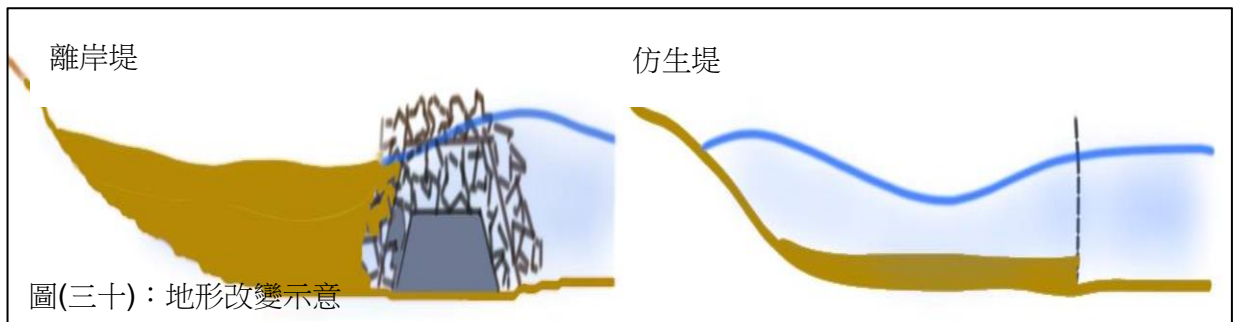
五、 仿生堤的環境友善討論

(一)地形：

1.放置海堤的目的本來是減少海岸的變化，但放置消波塊或離岸堤會直接造成海岸地形影響。

2.離岸堤放置會產生繫陸沙洲，不僅改變海岸地形，還會阻擋沿岸流產生突堤效應。

3.仿生堤模型消浪較弱，推測能避免繫陸沙洲的形成，且體積小較不影響地形。



(二)附加價值：

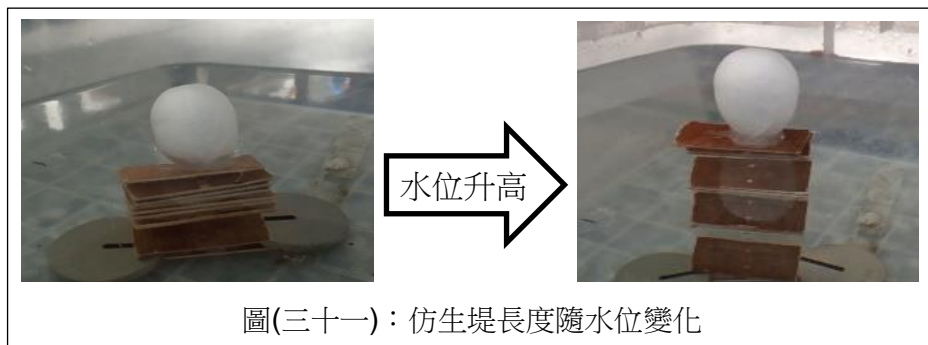
1.仿生堤為軟體結構，可以利用浮球或葉片的擺盪將波浪動能轉成電能進行發電。

2.可在仿生堤上裝置參數測量儀器，在消浪的過程中也可以順便監測潮位以及海浪的狀態。

(三)製作及施放：

1.消波塊質量很大，運送費高昂，且離岸堤因為需要大片的基底，無法投放到較深、較遠的位置，但仿生堤為長體結構物，較不受深度影響。

2.當漲潮時有些離岸堤的高度會低於水面，使消浪能力變差，而仿生堤則可以調整長度隨水位升降並保持消浪能力，如圖(十九)。



圖(三十一)：仿生堤長度隨水位變化

六、下沉率：

塊體下沉速率與地表受壓有正相關，於是分析仿生堤與消波塊離岸堤對地形的施壓，發現消波塊離岸堤的施壓約為仿生堤的 3.75 倍，此代表離岸堤下沉速率比仿生堤大，當仿生堤下沉速率較慢，代表它能夠保持一定高度維持其消浪能力，因此在消浪時效上會比消波塊來得久，且因對地施壓較小對地形的影響也來的較低。

消浪方式	底面積(cm ²)	重量(kg)	對地施壓(Pa)
仿生堤	0.0157	0.817	509.97
消波塊	0.0799	15.621	1915.96

七、單位體積消浪比：

定義：單位體積消浪比 = $\frac{\text{消浪比}}{\text{體積}}$

以仿生堤中消浪比最好的四排仿生堤與消波塊比較，發現消波塊的單位體積消浪比約為四排仿生堤的 0.5 倍，因此在水中仿生堤只需要較少的體積就能達到與消波塊相等的消浪比。

消浪方式	消浪比	體積(cm ³)	單位體積消浪比
四排仿生堤	-0.178	1162.4	1.53×10^{-4}
消波塊	-0.410	5785.8	7.08×10^{-5}

六、各種消浪方式比較

工法種類	優點	缺點
傳統海堤	施工容易、成本低	堤前反射，使沙灘流失、運送困難
離岸堤	使沿岸漂砂沉澱淤積	繫陸沙洲形成下游海岸將嚴重侵蝕、施工困難
人工養灘	使海灘保持原貌	需大量砂源且受侵蝕後會造成另一處堆積汙染
仿生堤	可放置較深水域、對環境較友善、可用來發電、質量輕	效果稍差

玖、 結論

- 一、當仿生堤的排數越多，消浪高比越小（負），消浪能比也越小(負)，且灘脊越接近海岸線，代表其消浪能力越好。
- 二、當仿生堤長度越長，消浪高比越小（負），但消浪能比卻無明顯的減少，可是灘線越接近海岸線，代表其消浪能力越好。
- 三、不同排列方式中，其中模型三（V 前 90°）消浪高比最（負），但消浪能比卻不減反增，導致其灘線離海岸線最遠。
- 四、自製消波塊的消浪高比消較其他實驗最小（負），消浪能比也是最小的(負)，是實驗當中消浪能力最高的消浪方式。